

数字图像处理

期

末

复

习

仅供学习数字图像处理系列课程的同学期末复习使用，

仅列出提纲，具体内容请结合课本自行复习

2019.12 武汉大学

目录

第一章 · 绪论.....3

第二章 · 数字图像处理基础.....4

第三章 · 图像变换.....6

第四章 · 图像增强.....7

第五章 · 图像复原与重建.....12

第六章 · 图像编码与压缩.....14

第七章 · 图像分割.....15

第八章 · 二值图像处理与形状分析.....17

第九章 · 影像纹理分析.....20

第十章 · 模板匹配与模式识别技术.....22

附图.....24

第一章 · 绪论

1. 图像的定义：图像是对客观存在的物体的一种相似性的生动模仿或描述。
2. 模拟图像：是空间坐标和明暗程度都是连续变化的、计算机无法直接处理的图像。
3. 数字图像：是一种空间坐标和灰度均不连续、用离散的数字表示的图像。
4. 数字图像的最小单位是像素。
5. 空间分辨率：指图像中可辨识的临界物体空间几何长度的最小极限。
6. 辐射分辨率：指传感器能分辨的目标反射或辐射的电磁辐射强度的最小变化量。
7. 密度分辨率：能区分不同目标密度的能力。
8. 空间频率：表示在空间距离上有周期性变化的信号。
9. 图像处理：对图像进行一系列的操作以达到预期的目的的技术称作图像处理。
10. 图像处理分为：模拟图像处理和数字图像处理两种方式。
模拟图像处理：
优点：并行处理速度快，结构简单；
缺点：处理精度差，灵活性差。
11. 数字图像处理：利用计算机对数字图像进行系列操作，从而获得某种预期的结果的技术总称。
12. 数字图像处理方法：
 - 1) 空间域处理：直方图均衡化、规定化；图像的加减运算；图像去噪
 - 2) 频率域处理：
13. 图像处理的类型
 - 1) 从图像到图像：输入为图像，输出为图像；
 - 2) 从数据到图像：输入为数据，输出为图像；
 - 3) 从图像到特征数据、特征图像：输入为图像，输出为简单图像或数据；
 - 4) 从图像的数据到图像：用于图像的传送。
14. 根据抽象程度不同可分为三个层次：狭义图像处理、图像分析、图像理解。

15. 数字图像处理的内容：图像的数字化、图像变化、图像增强、图像的恢复与重建、图像编码、图像分割、二值图像处理与形状分析、纹理分析、图像识别。
16. 数字图像处理的特点：精度高，再现性好（可恢复），通用性、灵活性强。

第二章·数字图像处理基础

1. 图像数字化：将一幅画面转化成数字图像的过程。
2. 图像数字化包括采样和量化两个过程。
3. 采样：将空间上连续的图像变换成离散点的操作。
4. 量化：将像素灰度转换成离散的整数值的过程。
5. 像素的灰度级：表示像素明暗程度的整数。
6. 灰度级数（G）：灰度级的个数。 $G=2^g$ ， g 表示存储图像像素灰度值所需的比特位数。图像的数据量= $M \times N \times g$ (bit)。
7. 二值图像：图像的每个像素只能是黑或者白，没有中间过渡的图像，二值图像的像素值为 0、1。
8. 灰度图像：每个像素的信息由一个量化的灰度级来描述的图像，没有彩色信息。
9. 彩色图像：每个像素的信息由 RGB 三原色构成的图像。
10. 图像的质量：层次、对比度、清晰度
 - 1) 层次：表示灰度级的数量；
 - 2) 对比度：指一幅图像中灰度反差的大小；
 - 3) 清晰度：与其有关的主要因素有亮度、对比度、颜色饱和度等
 - 4) 采样间隔越小，所得图像像素越多，空间分辨率高，图像质量好，但数据量大；
 - 5) 量化等级越多，所得图像层次越丰富，灰度分辨率高，图像质量好，但数据量大。

11. 图像灰度直方图：以灰度级为横坐标，灰度级的频率为纵坐标绘制的关系图就是灰度直方图。
12. 直方图的性质：
 - 1) 灰度直方图只能反映图像的灰度分布情况，而不能反映图像像素的位置；
 - 2) 一幅图像对应唯一的灰度直方图，反之不成立；
 - 3) 一幅图像分为多个区域，多个区域的直方图之和即为原图像的直方图。
13. 直方图的应用：
 - 1) 判断图像量化是否恰当；
 - 2) 用于确定图像二值化的阈值；
 - 3) 计算图像中物体的面积；
 - 4) 计算图像的熵。
14. 图像处理的基本功能：
 - 1) 单幅图像→单幅图像
 - 2) 多幅图像→单幅图像
 - 3) 单或多幅图像→数字或符号
15. 邻域：对于任一像素，该像素周围的像素所构成的集合成为该像素的邻域。常用的邻域有 4-邻域和 8-邻域。【附图 1】
16. 图像处理的几种具体算法：
 - 1) 局部处理：对输入图像进行处理时，某一输出像素的值由输入图像像素及其邻域中的像素值确定。
 - 2) 点处理：在局部处理中，输出像素的值仅与输入图像像素的值有关。
 - 3) 大局处理：在局部处理中，输出像素的值取决于输入图像大范围或全部像素的值。
 - 4) 迭代处理：反复对图像进行某种运算直至满足给定的条件，从而得到输出图像的处理形式。
 - 5) 跟踪处理：选择满足适当条件的像素作为起始像素，检查输入图像和已得到的输出结果，求出下一步应该处理的像素，进行规定的处理，然后决定是否继续处理下面的像素还是终止处理。

- 6) 位置不变处理：输出像素的值的计算方法与像素位置无关；
位置可变处理：随位置不同计算方法也不同的处理。
 - 7) 窗口处理：单独对图像中选定的矩形区域内的像素进行处理；
模板处理：边参照模板平面边对图像进行某种操作
(模板平面：一个和处理图像相同大小的二维数组，用于存储模板信息)(窗口处理与模板处理的不同之处在于后者必须设置一个模板平面)
17. 图像的数据结构：
- 1) 组合方式
 - 2) 比特面方式
 - 3) 分层结构
 - 4) 树结构
 - 5) 多重图像数据存储
18. 图像文件格式
- 1) RAW 格式：把像素按行列号顺序存储在文件中，只含有图像像素数据，不含信息头；
 - 2) BMP：文件头(14byte)，信息头(40byte)，调色板，位图数据；(位图是 1, 4, 8 位时，有调色板，位图是 24 位时没有调色板)
19. 特征提取：获取图像特征信息的操作叫做特征提取。
20. 特征向量：把从图像中提取的 m 个特征量用 m 维的向量表示称为特征向量。对应于各特征量的 m 维空间叫做特征空间。

第三章 · 图像变换

- 1. 图像变换：为达到图像处理的某种目的而使用的数学方法，是将图像从空间域变换到其他如频率域的数学变换。
- 2. 图像变换的目的：
 - 1) 使图像处理问题简化；
 - 2) 有利于图像特征提取；
 - 3) 有助于从概念上增强对图像信息的理解。

3. 图像变换的要求：
 - 1) 图像函数变换后处理更加方便简单；
 - 2) 图像函数变换后不损失原图像的信息；
 - 3) 图像变换必须是可逆的。
4. 图像变换的应用：
 - 1) 图像恢复；
 - 2) 特征提取；
 - 3) 图像压缩编码。
5. 点源：一幅图像可以看成由无穷多极小的像素组成，每一个像素都可以看作一个点源。
6. 狄拉克函数（略，详见课件）
7. 系统的定义：接受一个输入，并产生相应输出的任何实体系统的输入是一个或两个变量的函数，输出是相同变量的另一个函数。
8. 卷积积分的步骤：**【附图 2】**
 - 1) 折迭：把 $h(\tau)$ 相对纵轴作镜像；
 - 2) 位移：把 $h(-\tau)$ 移动一个 t 值；
 - 3) 相乘：将位移后的函数 $h(t-\tau)$ 乘以 $x(\tau)$ ；
 - 4) 积分： $h(t-\tau)$ 和 $x(\tau)$ 乘积曲线下的面积即为 t 时刻的卷积值。
9. 卷积定理：空间域上的卷积等于频率域上的乘积。
10. 傅里叶变换的物理意义：任何时域连续的复杂波形，通过傅里叶变换，都可以变成一系列简谐波之和。把一个一维输入信号做傅里叶变换后可以得到频率域上的信号，即得到构成该输入信号的频谱。

第四章 · 图像增强

1. 图像增强：加强、突出图像中的主要信息，抑制，削弱、剔除图像中不需要的信息，使处理的结果对特定应用来说比原始图像更合适，更便于进一步处理。
2. 图像增强的目的：使图像更适合于人的视觉特性或机器的识别系统。
3. 图像增强中图像信息有损无增。

4. 图像增强的方法：频率域处理法和空间域处理法
5. 常见的具体技术：灰度映射、图像平滑、图像锐化、几何校正。
6. 灰度变化：调整图像的灰度动态范围或图像对比度
 - 1) 线性变换：由灰度范围由 (a, b) 变换为 (c, d) ;
 - 2) 分段线性变换：突出感兴趣目标所在的灰度区间，相对抑制不感兴趣的灰度区间，在不同的灰度区间采取不同的线性变换;
 - 3) 非线性灰度变换：对数变换、指数变换。
7. 直方图修整法：用直方图修改技术进行图像增强。包括：直方图均衡化和直方图规定化。
8. 直方图均衡化：将原图像通过某种变换，得到一幅灰度直方图为均匀分布的新图像的方法。
9. 直方图均衡化算法：【附图 3】
 - 1) 统计图像中各灰度级像素个数 n_k ;
 - 2) 计算直方图中应变量的值： $P_k = n_k / (M \times N)$;
 - 3) 计算累计直方图中应变量的值： $S_k = \sum p_k$;
 - 4) 取整 $S_k = \text{int} \{ (L-1) * S_k \}$ (四舍五入);
 - 5) 确定映射关系： $k \rightarrow S_k$;
 - 6) 对图像进行增强变换 ($k \rightarrow S_k$);
10. 直方图规定化：使原图像灰度直方图变成规定形状的直方图而对图像作修正的增强方法。
11. 直方图的规定化的计算步骤：【附图 4】
 - 1) 对原始图像直方图进行均衡化;
 - 2) 计算规定累计直方图;
 - 3) 根据 SML 规则确定直方图之间的对应关系，并将元像素灰度映射到新的灰度级。
12. 图像信息量 H (熵) 的计算公式：【附图 5】
13. 图像平滑 (去噪)：为了抑制噪声改善图像质量所进行的处理。

14. 空间域上的几种平滑：

- 1) 局部平滑法：可用邻域内各像素点的灰度平均值代替该像素原来的灰度值。（去噪的同时会产生模糊，且邻域越大，去噪能力越强但模糊程度越严重。）
- 2) 超限像素平滑法：将 $f(x, y)$ 和邻域平均 $g(x, y)$ 的差的绝对值与选定的阈值进行比较，根据比较结果决定点 $f(x, y)$ 最后的灰度，若大于阈值则取邻域平均 $g(x, y)$ ，否则取 $f(x, y)$ 。（且邻域越大，去噪能力越强但模糊程度越严重。）
- 3) 灰度最相近的 K 个邻点平均法：可用窗口内与中心像素的灰度最接近的 K 个相邻像素的平均灰度来代替窗口中心像素的灰度值。（较小的 K 值使噪声方差下降较小，但保持细节效果较好；而较大的 K 值平滑噪声较好，但会使图像边缘模糊。）
- 4) 最大均匀性平滑：先找出环绕图像每像素的最均匀区域，然后用这区域的灰度均值代替该像素原来的灰度值。
- 5) 有选择的边缘平滑法：对任一像素 (x, y) 的 5×5 邻域，采用 9 个掩模，包括 1 个 3×3 的正方形，4 个五边形和 4 个六边形。计算各个掩模的均值和方差，用最小方差所对应的掩模的灰度均值代替该像素的灰度值。
- 6) 空间低通滤波法：模板在图中漫游，模板系数与模板下对应的像素相乘，并将所有乘积相加赋予模板中心对应像素。常见的掩模【附图 6】，掩模必须保证全部权系数之和为单位值。
- 7) 中值滤波：是一种非线性信号处理方法，用一个奇数点的移动窗口，将窗口中心点的值用窗口内各点的中值代替。（对脉冲干扰及椒盐噪声的抑制效果好，但对点、线等细节较多的图像不太合适）

15. 图像锐化：增强图像的边缘或轮廓

16. 图像平滑通过积分过程使得图像边缘模糊，图像锐化则通过微分过程使得图像边缘突出、清晰。

17. 图像锐化的方法：梯度锐化法、二阶微分算法、高通滤波法

18. 梯度锐化法:

对于离散图像处理而言，常将梯度的大小称为梯度，且用一阶差分近似表示一阶偏导。一般的梯度的计算【附图 7】，下面是几种一阶微分算法：

- 1) Roberts 梯度算法：【附图 8】
- 2) Prewitt 锐化算法：【附图 9】
- 3) Sobel 锐化算法：【附图 10】

19. 梯度增强图像的 5 种输出形式:

- 1) $g(x, y) = \text{grad}(x, y)$ 。
- 2) $\text{grad}(x, y) > T$ 时， $g(x, y) = \text{grad}(x, y)$ ；其余 $g(x, y) = f(x, y)$ 。
- 3) $\text{grad}(x, y) > T$ 时， $g(x, y) = Lg$ ；其余 $g(x, y) = f(x, y)$ 。
- 4) $\text{grad}(x, y) > T$ 时， $g(x, y) = \text{grad}(x, y)$ ；其余 $g(x, y) = Lb$ 。
- 5) $\text{grad}(x, y) > T$ 时， $g(x, y) = Lg$ ；其余 $g(x, y) = Lb$ 。

20. 二阶微分算法:

- 1) Laplacian 算子：线性二阶微分算子【附图 11】；
- 2) Laplacian 增强算子【附图 12】；
- 3) 方向算子：利用一组模板分别计算不同方向上的差分值，取其中最大的值作为边缘强度。【附图 13】。

21. 高通滤波法：用高通滤波算子和图像卷积来增强边缘。常用的两个高通滤波算子【附图 14】

22. 图像频率域增强的目的:

- 1) 消除噪声，改善图像的视觉效果
- 2) 突出边缘，有利于识别和处理

23. 频率域增强的过程：原图像 $f(x, y)$ ，先经傅里叶变换为 $F(u, v)$ ，选择合适的滤波器 $H(u, v)$ 对 $F(u, v)$ 的频谱成分进行处理得到 $G(u, v)$ ，然后经逆傅里叶变换得到增强图像 $g(x, y)$ 。 $(G(u, v) = H(u, v)F(u, v))$

24. 图像频率域增强的方法:

- 1) 频率域平滑（低通滤波）
- 2) 频率域锐化（高通滤波）
- 3) 同态滤波

25. 频率域平滑：由于噪声主要集中在高频部分，为了去除噪声改善图像质量，滤波器采用低通滤波器抑制高频部分，通过低频部分，然后再进行逆傅里叶变换得到滤波图像，达到平滑目的。
26. 常用的频率域低通滤波器 $H(u, v)$ 有 4 种：【附图 15】
- 1) 理想低通滤波器 (ILPF);
 - 2) Butterworth 低通滤波器 (BLPF);
 - 3) 指数低通滤波器 (ELPF);
 - 4) 梯形低通滤波器 (TLPF);
27. 频率域锐化：由于图像的边缘、细节主要位于高频部分，而图像模糊是由于高频部分比较弱产生的，为了消除模糊，突出边缘，滤波器采用高通滤波器抑制低频部分，通过高频部分，然后再进行逆傅里叶变换得到滤波图像，达到锐化目的。
28. 常用的频率域高通滤波器 $H(u, v)$ 有 4 种：【附图 16】
- 1) 理想高通滤波器 (IHPF);
 - 2) Butterworth 高通滤波器 (BHPF);
 - 3) 指数高通滤波器 (EHPF);
 - 4) 梯形高通滤波器 (THPF);
29. 不管是在图像空间域还是频率域，使用高频滤波不但会使有用的信息增强，同时也使噪声增强。
30. 同态滤波：通过同时压缩亮度范围和增强对比度来改善图像，消除不均匀照度的影响而又不损失图像细节。
31. 同态滤波实现的依据：图像的灰度由照射分量和反射分量合成， $f(x, y) = i(x, y)r(x, y)$ ， i 为明度函数， r 为反射分量函数。反射分量反映图像内容，随图像细节不同在空间上作快速变化，频谱落在空间高频部分；照射分量在空间上作缓慢变化，频谱落在空间低频部分。
32. 彩色增强技术：利用人眼的视觉特性，将灰度图像变成彩色图像或改变彩色图像已有彩色的分布，改善图像的可分辨性。
33. 彩色增强方法可分为：伪彩色增强和假彩色增强两类。
34. 伪彩色增强：把黑白图像的各个不同灰度级按照映射函数变换成不同的彩色，得到一幅彩色图像的技术。

35. 伪彩色增强的方法：密度分割法、灰度级-彩色变换、频率域伪彩色增强。
36. 假彩色增强：对一幅自然彩色图像或同一景物的多光谱图像，通过映射函数变换成新的三基色分量，彩色合成使感兴趣目标呈现出与原图像中不同的、奇异的彩色。
37. 在 HIS 模型上进行增强的处理：
 - 1) 通过色调进行处理；
 - 2) 通过亮度进行处理
 - 3) 通过颜色饱和度进行处理。
38. 图像运算：
 - 1) 算术运算：加减乘除；（乘法： $c(x, y) = a(x, y) \times b(x, y)$ ，其余同理）
 - 2) 逻辑运算：求反、异或、或、与
 - a) 求反： $g(x, y) = 255 - f(x, y)$ ，得到一个子图像的补图像；
 - b) 异或： $g(x, y) = f(x, y) \odot \leftarrow + h(x, y)$ ，得到相交子图像；
 - c) 或： $g(x, y) = f(x, y) \vee h(x, y)$ ，合并子图像；
 - d) 与： $g(x, y) = f(x, y) \wedge h(x, y)$ ，求两个子图像的相交子图

第五章 · 图像复原与重建

1. 图像退化：图像在形成、传输和记录过程中，由于成像系统、传输介质和设备的不完善，使得图像的质量变坏。
 2. 图像复原：尽可能恢复退化图像本来面目。
 3. 图像复原过程：找退化原因→建立退化模型→反向推演→恢复图像
 4. 图像复原和图像增强的区别：图像增强不考虑图像是如何退化的，而图像复原需要知道图像退化机制和过程等先验知识，据此找出相应的逆处理方法作复原处理。如果图像已退化，应先作复原处理，再做增强处理。二者的目的都是为了改善图像的质量。
 5. 线性位移不变成像系统图像退化模型： $g(x, y) = f(x, y) \times h(x, y) + n(x, y)$ 。
- 【附图 17】
6. 二维离散的降质模型化为： $g = H \cdot f + n$;

7. 图像复原方法:

1) 空间域恢复方法: 代数复原方法: 在假设具备 g 、 h 和 n 的某些知识的情况下求 f 的方法:

a) 无约束复原: $\hat{f} = H^{-1}g$

b) 有约束最小二乘复原: Q 为 f 的线性因子, $\hat{f} = (H^T H + \gamma Q^T Q)^{-1} H^T g$

i. 能量约束恢复: $Q = 1$;

ii. 平滑约束恢复: $Q = C$;

iii. 均方误差最小滤波 (维纳滤波): Q 为噪声与信号之比

2) 频率域恢复方法: 逆滤波恢复法

复原步骤:

a) 对退化图像 $g(x, y)$ 作二维离散傅里叶变换, 得到 $G(u, v)$;

b) 计算系统点扩散函数 $h(x, y)$ 的二维傅里叶变换得到 $H(u, v)$;

c) 按 $F(u, v) = G(u, v) / H(u, v)$ 计算 $\hat{F}(u, v)$;

d) 计算 $\hat{F}(u, v)$ 的逆傅里叶变换得到 $\hat{f}(x, y)$ 。

8. 几何失真: 图像在获取过程中, 由于成像系统本身具有非线性、拍摄角度等因素的影响, 会使获得的图像产生几何失真。

9. 几何失真分为系统失真和非系统失真。系统失真是有规律能预测的, 非系统失真则是随机的。

10. 几何校正方法:

1) 图像空间坐标变换: 确定图像相点坐标与物方对应点之间的映射关系, 然后根据映射关系对各个坐标进行校正。

2) 确定各像素的灰度值 (灰度内插)

11. 几何校正方法分为直接法和间接法两种

12. 像素灰度内插法有: 最近邻元法、双线性内插法、三次内插法

13. 图像的几何变换: 图像的放大、缩小、旋转等操作

14. 图像的缩小:

1) 图像尺寸减半: 取偶数行和偶数列构成新的图像

2) 依比例缩小 【附图 18】

3) 不依比例缩小

第六章·图像编码与压缩

1. 图像的编码与压缩：对图像数据按一定的规则进行变换和组合，达到以尽可能少的代码（符号）来表示尽可能多的图像信息。
2. 图像编码压缩的分类
 - 1) 按解压重建后的图像之间是否存在误差分：无损编码和有损编码
 - 2) 根据编码作用域分：空间域编码和变换域编码
3. 评价压缩算法的标准：保真度准则：客观、主观。
 - 1) 客观保真度标准：
 - a) 输入图和输出图之间的均方根（rms）误差；
 - b) 输入图和输出图的均方根信噪比（SNR）；
 - c) 峰值信噪比（PSNR）
 - 2) 主观保真度标准
4. 图像压缩的相关参数：【附图 19】
 - 1) 熵 H ；
 - 2) 平均码长 L_{avg} ；
 - 3) 编码效率 η ；
 - 4) 压缩比 P_r
5. 数字图像压缩中的三种基本数据冗余：
 - 1) 编码冗余；
 - 2) 像素间冗余；
 - 3) 心理视觉冗余
6. 霍夫曼编码的基本原理：通过减少编码冗余来达到压缩的目的，将在图像中出现次数多的像素值给一个短的编码，将出现次数少的像素给一个长的编码。霍夫曼编码是即时码，任意一个码字只能与一种信号存在对应关系。

7. 霍夫曼编码的步骤：【附图 20】

- 1) 将信源符号按出现概率从大到小排成一行，然后把最末尾的两个符号的概率相加，合成一个概率；
- 2) 把这个符号的概率与其他符号的概率从大到小排成一行，然后把最末尾的两个符号的概率相加，合成一个概率；
- 3) 重复上述步骤直到最后只剩下两个概率为止；
- 4) 从最后一步开始逐步向前编码，对概率大的分支赋予码元 0，对概率小的赋予码元 1。

第七章 · 图像分割

1. 图像分析：对图像中感兴趣的目标进行检测和测量，以获得它们的客观信息，从而建立起对图像的描述。
2. 图像分析的步骤：
 - 1) 把图像分割成不同的区域或把不同的对象分开；
 - 2) 找出分开的各区域的特征；
 - 3) 识别图像中要找的对象或对图像进行分类；
 - 4) 对不同区域进行描述或找出不同区域的相互联系，进而找出相似结构或将相关区域连成一个有意义的结构。
3. 图像分割：把图像分成互不重叠的区域并提取感兴趣目标的技术。
4. 分割算法基于灰度值的两个基本特性：不连续性和相似性
 - 1) 检测图像像素灰度级的不连续性，找到点、线（宽度为 1）、边（不定宽度）。
 - 2) 检测图像像素灰度值的相似性，通过选择阈值，找到灰度值相似的区域，区域的外轮廓就是对象的边。
5. 图像分割的方法：
 - 1) 基于边缘的分割方法：先提取区域边界，再确定边界限定的区域；
 - 2) 区域分割：确定每个像素的归属区域，从而形成一个区域图；
 - 3) 区域生长：将属性相近的联通像素聚集成区域；
 - 4) 分裂-合并分割：既存在图像的分割，又有图像的合并。

6. 边缘：图像中像素灰度有阶跃变化或屋顶变化的那些像素的集合
7. 边缘检测算子：
 - 1) 梯度算子：【附图 21】
 - 2) Roberts 算子：【附图 8】
 - 3) Prewitt 算子：【附图 9】
 - 4) Sobel 算子：【附图 10】
 - 5) Kirsch 算子（方向算子）：【附图 13】
 - 6) 拉普拉斯算子：【附图 11】
 - 7) Marr 算子。
8. 边缘跟踪：将检测的边缘点连接成线就是边缘跟踪。
9. 边缘跟踪的过程：
 - 1) 可构成线特征的边缘提取；
 - 2) 将边缘连接成线。
10. 连接边缘的方法：光栅跟踪、全向跟踪。
11. 光栅跟踪的步骤：【附图 22】
 - 1) 确定一个比较高的阈值 d 作为检测阈值；
 - 2) 用检测阈值 d 对图像进行检测，凡超过 d 的点都接受为对象点，并作为下一步跟踪的起始点；
 - 3) 选取一个比较低的阈值 t 作为跟踪阈值，对当前对象点的八邻点中的下面三个点进行判断，满足跟踪阈值 t 的点接受为对象点，反之去除。
 - 4) 如果在下一行像素中，对应上一行已检测出的某一对象点，没有一个邻域像素被接受为对象点，那么这一条曲线的跟踪便可结束。如果发生分支，则各分支同时进行。一条曲线跟踪结束后重复上述步骤从第一行的其他起始点开始下一条曲线的跟踪。
 - 5) 当所有起始点跟踪完毕，跟踪结束。
12. 光栅跟踪的特点：光栅顺序跟踪和光扫描的方向有关；若边缘和光栅扫描方向平行时效果不好，可以在垂直扫描方向再跟踪一次。

13. 全向跟踪的具体步骤：【附图 23】
- 1) 按光栅扫描方式对图像进行扫描，用检测阈值找出一个作为开始跟踪的起始点（流动点）；
 - 2) 选取一个适当的、能进行全向跟踪的，能进行全向跟踪的邻域定义和一个适当的跟踪准则，对流动点进行跟踪。
 - 3) 在跟踪过程中若遇到分支点或若干曲线的交点，则先取其中和流动点性质最接近的一个作为新的流动点，继续进行跟踪，而把其他像素存储起来。当一个分支曲线跟踪结束后，回到最近的一个分支点处，取出另一个最接近该分支点的像素作为新的流动点，重复上述跟踪程序。
 - 4) 整幅图像扫描完成，跟踪结束。
14. 线检测模板法：通过比较经典模板的计算值，确定一个点是否在某个方向的线上。常见模板【附图 24】。
15. Hough 变换：直角坐标系中的一条直线对应到极坐标中的一个点，这种线到点的变换就是 Hough 变换。
16. Hough 变换检测法的算法步骤：【附图 25】
- 1) 在 ρ 、 θ 的极值范围内对其分别进行 m 、 n 等分，设一个二维数组的下标与 ρ_i 、 θ_j 的取值对应；
 - 2) 对图像上的所有边缘点做 Hough 变换，求每个点在 θ_j ($j=1, 2, \dots$) Hough 变换后的 ρ_i ，并判断与哪个数组元素对应，让该数组元素加 1；
 - 3) 比较数组元素的大小，最大值对应的 (ρ_i , θ_j) 就是这些共线点对应的直线方程参数。

第八章 · 二值图像处理与形状分析

1. 二值图像：仅含有两级灰度的数字图像。
2. 二值图像的特点：数据量小；处理速度快，成本低；能定义几何学的各种概念。
3. 邻域：对于任一像素 (i, j) ，把像素的集合 $\{(i+p, j+q)\}$ (p, q 是一对适当的整数) 叫做像素 (i, j) 的邻域。
4. 4-邻域：像素 (i, j) 上下左右 4 个像素称为像素 (i, j) 的 4-邻域。

5. 8-邻域：像素 (i, j) 上下左右 4 个像素以及 4 个对角线像素，称为像素 (i, j) 的 8-邻域。
6. 4-邻接：互为 4-邻域的两个像素叫做 4-邻接。
7. 8-邻接：互为 8-邻域的两个像素叫做 8-邻接。
8. 4-/8-连接：在二值图像中，具有两个相同数值的像素 a_1, a_2 ，若所有与他们具有相同值的像素，能够在 4-/8-邻域内构成一个从 a_1 到 a_2 的邻接的像素序列，则我们把像素 a_1 和 a_2 叫做 4-/8-连接。其像素序列叫做 4-/8-路径。
9. 连接成分：在一个二值图像中，如果把相互连接的像素汇集成一组，就产生了若干个“0”值像素组和“1”值像素组，分别称这些组为连接成分。
(注：在研究一个二值图像的场所，0 像素和 1 像素应采用互反的连接形式)
10. 孔：在“0”连接成分中，如果存在与外围的一行、一列的像素不相连的部分，则称为孔。
11. 单连接成分：不包含孔的“1”连接成分叫单连接成分。
12. 孤立点：仅含有一个像素的单连接成分。
13. 多重连接成分：含有孔的“1”连接成分叫多连接成分。
14. 欧拉数：在二值图像中，1 像素连接成分数 C 与孔数 H 的差值。 $(E=C-H)$
15. 像素的连接数：在一个“1”像素 x 的 3×3 邻域中，与 x 有连接关系的图形分量（不包括 x ）的个数。采用 4-连接和 8-连接时的连接数分别用 N_c^4 和 N_c^8 表示。连接数的计算：**【附图 26】**
16. 用 N_c^8 判断像素点的性质：
 - 1) $B(p)=1$ 且 $N_c^8 = 0$ ：孤立点或内部点；
 - 2) $B(p)=1$ 且 $N_c^8 = 1$ ：端点；
 - 3) $B(p)=1$ 且 $N_c^8 = 2$ ：连接点；
 - 4) $B(p)=1$ 且 $N_c^8 = 3$ ：分支点；
 - 5) $B(p)=1$ 且 $N_c^8 = 4$ ：交叉点；
 - 6) $B(p) = 0$ ：背景点。
17. 连接性不变：指连接成分不分离，不结合，孔不消除也不生成。

18. 像素的可删除性：当改变一个像素值由 1 变成 0 时，整个图像的连接性不改变，则认为这个像素是可删除的。（可删除像素与连接数 $N_c^8 = 1$ 的情况是一致的）实例：【附图 27】
19. 像素间的距离：
- 1) 欧几里得距离（欧氏距离）
 - 2) 4-邻点距离（街坊距离）
 - 3) 8-邻点距离（国际象棋盘距离）
 - 4) 8 角形距离
20. 二值图像的链码表示 【附图 28】
21. 标记：对不同的连接成分赋予不同的标号。
22. 标记的算法（8-连接）：
- 1) 对图像顺序地进行光栅扫描，若发现没有分配标号的 1 像素，分配还没有被使用过的标号给它，然后对位于这个像素的 8-邻域的 1 像素赋予相同的标号，反复进行处理，直至没有 1 像素可以标号为止。
 - 2) 继续对图像进行扫描，若发现还没有赋予标号的 1 像素就赋予新的标号，进行上述处理。否则标记结束。
23. 变形操作：结构元素与图像进行逻辑运算，产生新的图像的处理方法。
- 1) 膨胀 【附图 29】：用 3×3 的结构元素扫描图像的每一个像素，用结构元素与其覆盖的二值图像做“与”操作，若都为 0，则该像素为 0，否则为 1。
 - 2) 腐蚀 【附图 30】：用 3×3 的结构元素扫描图像的每一个像素，用结构元素与其覆盖的二值图像做“与”操作，若都为 1，则该像素为 1，否则为 0。
 - 3) 开运算 ($A \circ B$)：先腐蚀运算后再进行膨胀运算。
 - 4) 闭运算 ($A \bullet B$)：先膨胀运算后再进行腐蚀运算。
24. 细化：在不破坏连通性的前提下，把曲线型物体变成一个像素宽的线型图。

25. 细化的算法实现：

- 1) 做腐蚀操作，但不立刻删除像素，只打标记；
- 2) 将不破坏连通性的标记点删掉；
- 3) 重复执行，将产生细化结果。

26. 粗化：在不合并对象的前提下，粗化图像。

27. 粗化的算法实现：

- 1) 做膨胀操作，但不立刻添加像素，只打标记；
- 2) 将不产生对象合并的标记点添加进来；
- 3) 重复执行，将产生粗化结果。

第九章·影像纹理分析

1. 纹理：是由纹理基元在给定区域内的不同位置上，以不同的形变及不同的方向重复出现的一种图纹。
2. 纹理图像：以纹理特性为主导的图像。
3. 纹理区域：以纹理特性为主导特性的区域。
4. 人工纹理：是某种符号的有序排列，是有规则的。
5. 自然纹理：是具有重复排列现象的自然景象，是无规则的。
6. 测量纹理的特性的方法：
 - 1) 统计分析法：从图像有关属性的统计分析出发；
 - 2) 结构分析法：着力找出纹理基元，然后从结构组成上探索纹理的规律，或直接去探求纹理构成的结构规律
7. 直方图分析法：纹理区域的灰度直方图作为纹理特征，研究灰度直方图的相似性，可以比较累积灰度直方图分布，计算灰度级的最大偏差或总偏差。

8. Laws 纹理能量测量法:
- 1) 基本思想是设置两个窗口;
 - 2) 一个微窗口 (3×3 、 5×5 、 7×7) 来测量像元中心的小区域的灰度的不规则性以形成属性, 称为微窗口滤波;
 - 3) 一个宏窗口 (15×15 、 32×32) 来在更大的窗口上求属性的一阶统计量, 称为能量变换。
 - 4) 过程: $f(x, y) \rightarrow$ 微窗口滤波 $\rightarrow F(x, y) \rightarrow$ 能量转换 $\rightarrow E(x, y) \rightarrow$ 分量旋转 $\rightarrow C(x, y) \rightarrow$ 分类 $\rightarrow M(x, y)$
 - 5) 一维滤波模板: 【附图 31】
9. 自相关函数分析法: 自相关函数 $\rho(x, y)$ 随 x, y 的大小而变化, 与图像中纹理粗细的变化有着对应的关系。
- 1) 定义 $d = (x^2 + y^2)^{1/2}$, 在 $x=0, y=0$ 处, $\rho(d) = 1$ 为最大值;
 - 2) 当纹理较粗时, $\rho(d)$ 随 d 的增加下降速度较慢;
 - 3) 当纹理较细时, $\rho(d)$ 随 d 的增加下降速度较快;
 - 4) 若对应 $\rho(d)$ 变化最慢的方向, 那么纹理局部模式形状向该方向延伸。
10. 灰度共生矩阵: 从图像 (x, y) 灰度为 i 的像素出发, 统计在 θ 方向上, 与距离为 δ 、灰度为 j 的像素同时出现的概率 $P(i, j, \delta, \theta)$ 。【附图 32】
11. 灰度共生矩阵特征的提取的具体方法:
- 1) 灰度共生矩阵反映了图像灰度关于方向、相邻间隔、变化幅度的综合信息, 它可作为分析图像基元和排列结构的信息;
 - 2) 作为纹理分析的特征量, 往往不是直接应用计算的灰度共生矩阵。而是在灰度共生矩阵的基础上再提取纹理特征量, 称为二次统计量;
 - 3) 一幅图像的灰度级数一般是 256, 在求灰度共生矩阵之前常压缩为 16 级;
 - 4) 在灰度共生矩阵提取特征之前要做正规化处理;
 - 5) 提取 14 种特征: 角二阶矩 (能量)、对比度 (惯性矩)、相关、熵、逆差矩等 【附图 33】

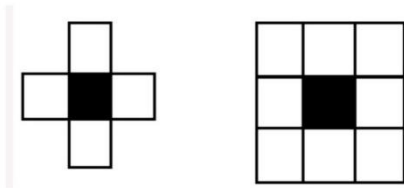
第十章·模板匹配与模式识别技术

1. 模式：存在于时间，空间中可观察的事物，具有时间或空间分布的信息。
2. 模式的直观特性：可观察性，可区分性，相似性。
3. 模式识别：用计算机实现人对各种事物或现象的分析，描述，判断和识别。
4. 模板匹配：当对象物的图案以图像的形式表现时，根据该图案与一幅图像的各部分的相似度判断其是否存在，并求得对象物在图像中的位置的操作叫做模板匹配。
5. 模板匹配的基本思想：设检测对象的模板为 $t(x, y)$ ，令其中心与图像 $f(x, y)$ 中的一点 (i, j) 重合，检测 $t(x, y)$ 和图像重合部分之间的相似度，对图像中所有的点都进行这样的操作，根据相似度最大或超过某一阈值来确定对象物是否存在，并求得对象物所在的位置。
6. 模板匹配的尺度：
 - 1) 非相似度：值越小，匹配程度越好；
 - 2) 相似度：值越大，匹配程度越好。
7. 模板匹配方法的改进：
 - 1) 高速模板匹配法：粗精检索结合方法
 - 2) 高精度定位的模板匹配。
8. 模式识别系统的基本构成【附图 34】
9. 模式识别的方法：
 - 1) 统计模式识别：
 - a) 概率分类法：基于概率统计模型得到各类别的特征向量的分布，以取得分类的方法。是一种监督分类的方法，分类器是概念驱动的。
 - b) 聚类分析：用某种相似性度量的方法将原始数据组织成有意义的和有利的各种数据集。是一种非监督学习的方法，解决方案是数据驱动的。
 - 2) 模糊模式识别；
 - 3) 结构模式识别：识别采用结构匹配的形式，通过计算一个匹配程度值来评估一个未知的对象或位置对象的某些部分与某种典型模型的关系。

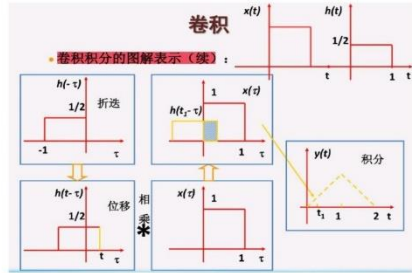
4) 人工神经网络方法。

附图

○ 附图1: 4邻域与8邻域



附图2: 卷积的步骤



○ 附图3: 直方图的均衡化图解

均衡化过程如图所示。

k	r_k	n_k	n_k/n	s_k	S_k
0	0	790	0.19	0.19	1
1	1/7	1023	0.25	0.44	3
2	2/7	850	0.21	0.65	5
3	3/7	656	0.16	0.81	6
4	4/7	329	0.08	0.89	6
5	5/7	245	0.06	0.95	7
6	6/7	122	0.03	0.98	7
7	7/7	81	0.02	1.00	7

○ 附图4: 直方图的规定化图解

原始图像灰度级	0	1/7	2/7	3/7	4/7	5/7	6/7	7/7
原始图像各灰度级的像素	790	1023	850	656	329	245	122	81
计算原始直方图	0.19	0.25	0.21	0.16	0.08	0.06	0.03	0.02
计算原始归一化直方图	0.19	0.44	0.65	0.81	0.89	0.95	0.98	1.00
规定直方图	0	0	0	0.15	0.29	0.30	0.29	0.15
计算规定直方图	0	0	0	0.15	0.35	0.65	0.85	1.00
SIM映射	3	4	5	6	6	7	7	7
确定映射对应关系	0→3	1→4	2→5	3, 4→6	5, 6, 7→7			
变换后直方图	0	0	0	0.19	0.25	0.21	0.21	0.11

○ 附图5: 图像信息量(熵)的计算公式

计算图像信息量H(熵)

$$H = -\sum_{i=0}^{L-1} P_i \log_2 P_i$$

P_i 是图像灰度级为 i 的像素出现的频率, 图像的灰度范围在 $[0, L-1]$ 。

○ 附图6: 常见的掩模

常用的掩模有

$$H_1 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, H_2 = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, H_3 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$
$$H_4 = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, H_5 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{4} & 0 \\ \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{4} \\ 0 & \frac{1}{4} & 0 \end{bmatrix}$$

对于高频图像处理而言, 常用到梯度的大小, 因此把梯度的大小习惯称为“梯度”。并且一阶偏导数采用一阶差分近似表示, 即

$$f'_x = f(x+1, y) - f(x, y)$$
$$f'_y = f(x, y+1) - f(x, y)$$

为简化梯度的计算, 经常使用:

$$grad(x, y) = \text{Max}\{|f'_x|, |f'_y|\}$$

或: $grad(x, y) = |f'_x| + |f'_y|$

○ 附图7: Roberts算子

Roberts梯度算法

Roberts对应的模板如图所示:

$$f'_x = f(x+1, y+1) - f(x, y)$$
$$f'_y = f(x+1, y) - f(x, y+1)$$
$$grad(x, y) = |f'_x| + |f'_y|$$

○ 附图8: Prewitt算子

Prewitt梯度算法

Prewitt对应的模板如图所示:

$$d_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, d_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Prewitt算子

差分计算公式如下:

$$grad(x, y) = [d_1^2(x, y) + d_2^2(x, y)]^{1/2}$$

○ 附图9: Sobel算子

Sobel锐化算法

Sobel对应的模板如图所示:

$$d_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, d_2 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Sobel算子

差分计算公式如下:

$$grad(x, y) = [d_1^2(x, y) + d_2^2(x, y)]^{1/2}$$

○ 附图10: Laplace算子

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Laplace算子

○ 附图11: Laplace增强算子

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

增强算子

○ 附图12: 高斯算子

$$\begin{bmatrix} -5 & 3 & 3 \\ -5 & 3 & -5 \\ -5 & 3 & 3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & -5 & 3 \\ 3 & 3 & -5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 & -5 & -5 \\ -5 & -5 & -5 \\ -5 & -5 & -5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 3 & 3 \\ 3 & -5 & -5 \end{bmatrix}$$

高斯算子

○ 附图13: 高斯滤波算子

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

高通滤波算子

○ 附图15: 4种低通滤波器

① 理想低通滤波器的定义

一个二维的理想低通滤波器 (ILPF) 的转换函数满足 (是一个分段函数)

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases}$$

其中: D_0 为截止频率

$$D(u, v) \text{ 为距离函数 } D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$

② Butterworth低通滤波器的定义

一个截止频率在与原点距离为 D_0 的 n 阶 Butterworth低通滤波器 (BLPF) 的转换函数如下:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2n}}$$

3. 指数低通滤波器 (ELPF)

指数低通滤波器是图像处理中常用的另一种平滑滤波器。它的传递函数为:

$$H(u, v) = e^{-\frac{D(u, v)}{D_0}}$$

4. 梯形低通滤波器 (TLPF)

梯形低通滤波器是理想低通滤波器和完全平滑滤波器的折中。它的传递函数为:

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & D(u, v) < D_0 \\ \frac{D(u, v) - D_0}{D_0 - D_1} & D_0 \leq D(u, v) \leq D_1 \\ 0 & D(u, v) > D_1 \end{cases}$$

○ 附图16: 4种高通滤波器

理想高通滤波器的定义

一个二维的理想高通滤波器 (IHPF) 的转换函数满足 (是一个分段函数)

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 1 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases}$$

其中: D_0 为截止频率

$$D(u, v) \text{ 为距离函数 } D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$

② Butterworth高通滤波器的定义

一个截止频率在与原点距离为 D_0 的 n 阶 Butterworth高通滤波器 (BHPF) 的转换函数如下:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2n}}$$

3. 指数高通滤波器

指数高通滤波器的传递函数为:

$$H(u, v) = e^{-\left[\frac{D_0}{D(u, v)}\right]^n}$$

4. 梯形高通滤波器

梯形高通滤波器的定义为

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & D(u, v) < D_0 \\ \frac{D(u, v) - D_0}{D_1 - D_0} & D_0 \leq D(u, v) \leq D_1 \\ 1 & D(u, v) > D_1 \end{cases}$$

○ 附图17: 线性位移不变成像系统图像退化模型

图像退化的数学模型

1. 线性位移不变成像系统图像退化模型

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y)$$

$g(x, y)$ —退化图像

$f(x, y)$ —理想图像

$h(x, y)$ —点扩散函数

$n(x, y)$ —加性噪声



○ 附图18: 逐点法和子像素比例缩小

二、依比例的缩小:

$M*N$ 大小的图像缩小为: $L*S$ 大小。

其中: $M/N=L/S=k$.

1. 计算 $c=L/M$

2. 设旧图像是 $F(x, y)$, 新图像是 $I(x', y')$

$$\text{则: } I(x', y') = F(\text{int}(c*x), \text{int}(c*y))$$

三、不依比例缩小

这种操作一定带来图像的几何畸变。

$M*N$ 大小的图像缩小为: $L*S$ 大小。

其中: $M/L=k1, N/S=k2$.

1. 计算 $c1=1/k1, c2=1/k2$

2. 设旧图像是 $F(x, y)$, 新图像是 $I(x', y')$

$$\text{则: } I(x', y') = F(\text{int}(c1*x), \text{int}(c2*y))$$

